

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

Mémoire de fin d'études

Présenté par

Habi Manel

Chaabane Hanane

Pour l'obtention du diplôme de

Master en Sciences Alimentaires

Spécialité : Nutrition et Pathologie

Thème

**Détermination des teneurs en éléments traces métalliques
(Pb, Cd, Zn, Cu) dans le lait industriel et le lait de vache
de la région de Mostaganem**

Devant le Jury

Président:	Dr. CHAALEL Abdelmalek	MCA	Univ Mostaganem
Examinatrice:	Dr. BOUKKEZOULA Nawal	MCB	Univ Mostaganem
Encadreur :	Dr. MOKHTAR Meriem	MCA	Univ Mostaganem

Année universitaire : 2020-2021

Remerciement

*C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que je remercie mon encadreur **M^{me} MOKHTAR Meriem** pour son aide précieuse, ses conseils, sa patience, son soutien et ses efforts dont elle a fait preuve au cours de l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.*

*Je remercie **Dr CHAALEL Abdelmalek**, merci d'avoir accepté de donner de votre temps pour présider mon jury et juger ce travail.*

*Je remercie également, **Dr. BOUKKEZOULA Nawal** qui nous fait l'honneur d'examiner ce travail. Vos conseils me seront précieux.*

Mes respectueux remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du département des sciences alimentaires.

Je tiens à remercier chaleureusement, tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs soutien pour accomplir ce travail.

Dédicace

Avec l'aide d'Allah le tout puissant et miséricordieux, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie,

Je dédie ce mémoire, fruit de mes efforts

Je dédie ce mémoire de fin d'étude : A mes chers parents, Ma très chère mère qui m'a toujours apportée son soutien et son affection, mon père Tayeb qui m'a toujours encouragée, conseillée et soutenue dans mon travail que Dieu les gardes pour moi.

A tous mes enseignants.

Dédicace

Avec l'aide d'Allah le tout puissant et miséricordieux, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie,

Je dédie ce mémoire, fruit de mes efforts

Je dédie ce mémoire de fin d'étude : A mes chers parents, Ma très chère mère qui m'a toujours apportée son soutien et son affection, mon père Mohamed qui m'a toujours encouragée, conseillée et soutenue dans mon travail que Dieu les gardes pour moi.

A tous mes enseignants.

Abstract

The analysis of trace elements (TEs) in foodstuffs, in particular milk, could be an important indicator of the safety, quality and pollution level of the region where the milk was produced. Therefore, the present study was conducted to determine some TEs (Cd, Pb, Cu and Zn) in cow milk (from different regions of Mostaganem) and some of the most important industrial milks in the Algerian market, as well as the risk assessment following their consumption. According to the results, no trace of lead was detected in all samples, while cadmium values were very high compared to the standards and much higher in industrial milks (0.036- 0.304 mg/kg). For essential elements, cow's milk had good zinc values compared to industrial milk, but the sample from the Stidia region had levels 19 times superior than the maximum allowed for zinc. For copper, values lower than the maximum permitted levels (0.4 mg/kg) were recorded. Based on the calculated risk indices, no product is dangerous for the consumer.

Keywords: cow's milk, industrial milk, trace elements, risk index.

ملخص

ان تحليل مستويات العناصر المعدنية (ETM) في المواد الغذائية ، وخاصة الحليب ، يمكن أن يكون مؤشرًا مهمًا للسلامة والجودة و مستوى تلوث المنطقة التي تم إنتاج الحليب فيها. و بالتالي أجريت الدراسة الحالية لتحليل بعض العناصر المعدنية (الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك) في حليب البقر (من مناطق مختلفة من مستغانم) وبعض الحليب الصناعي الأكثر استهلاك في السوق الجزائرية ، وكذلك تقييم خطر بعد استهلاكهم. وفقًا للنتائج ، لم يتم الكشف عن أي أثر للرصاص في جميع العينات ، بينما كانت قيم الكاديوم عالية جدًا مقارنة مع المعايير وأعلى بكثير في الحليب الصناعي (0.036- 0.304 مجم / كجم). فيما يتعلق بالعناصر الأساسية، يحتوي حليب البقر على قيمة جيدة لزنك مقارنة بالحليب الصناعي، لكن محتوى الزنك في العينة المأخوذة من منطقة ستيدية 19 ضعف الجرعات القصوى المسموح بها. بالنسبة للنحاس ، تم تسجيل قيم أقل من الجرعات القصوى المسموح بها (0.4 مجم / كجم). من مؤشرات المخاطر المحسوبة ، لا يشكل أي منتج خطرًا على المستهلك .

الكلمات المفتاحية: حليب البقر ، الحليب الصناعي ، العناصر المعدنية ، مؤشر المخاطر.

Résumé

L'analyse des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les denrées alimentaires, en particulier le lait, pourrait être un indicateur important de la sécurité, de la qualité et du niveau de pollution de la région dans laquelle le lait a été produit. Par conséquent, la présente étude a été menée pour doser certains ETMs (Cd, Pb, Cu et Zn) dans le lait de vache (provenant de différentes régions de Mostaganem) et quelques laits industriels les plus importants dans le marché algérien, ainsi que l'évaluation du risque suite à leur consommation. Selon les résultats, aucune trace de plomb n'a été détectée dans tous les échantillons, alors que les valeurs de cadmium étaient très élevées par rapport aux normes et beaucoup plus chez les laits industriels (0.036- -0.304 mg/kg). En ce qui concerne les éléments essentiels, le lait de vache contient de bonnes valeurs en zinc par rapport au lait industriel, mais l'échantillon provenant de la région de Stidia avait des teneurs 19 fois la norme maximale du zinc autorisée. Pour le cuivre, des valeurs inférieures aux doses maximales admises (0.4 mg/kg) ont été enregistrées. A partir des indices de risque calculés, aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur.

Mots clés: lait de vache, lait industriel, éléments traces métalliques, indice de risque.

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Composition moyenne du lait de vache

Tableau 2 : Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels

Tableau 3 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement

Tableau 4 : Echantillons utilisés dans cette étude

Tableau 5 : Dose journalière estimée et indice de risque pour le cadmium

Tableau 6 : Dose journalière estimée et indice de risque pour le cuivre

Tableau 7 : Dose journalière estimée et indice de risque pour le Zinc

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Spectrophotomètre à absorption atomique (Shimadzu, AA-7000)

Figure 2 : Courbe d'étalonnage du plomb

Figure 3 : Courbe d'étalonnage du cadmium

Figure 4 : Courbe d'étalonnage du zinc

Figure 5 : Courbe d'étalonnage du cuivre

Figure 6: Concentrations du cadmium dans le lait de vache et le lait industriel

Figure 7 : Concentrations du zinc dans le lait de vache et le lait industriel

Figure 8 : Concentrations du Cuivre dans le lait de vache et le lait industriel

Liste des abréviations

Ag : argent

Al : aluminium

Ar : argon

As : arsenic

Au : or

C : concentration

Cd : cadmium

Cr : chrome

Cu : cuivre

DJA : dose journalière admise

DJE : dose journalière estimée

ETM : élément trace métallique

IR : indice de risque

LI : lait industriel

P : poids

Pb : plomb

Q : quantité

Zn : zinc

LV : lait de vache

SAA : spectrophotomètre à absorption atomique

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Abstract

ملخص

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

La liste des abréviations

Introduction	1
Chapitre I : Partie bibliographique	3
I.1.Définition du lait.....	3
I.2.Importance du lait	3
I.3.Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques.....	3
I.4.La composition du lait	4
I.5.Métabolites et micropolluants susceptibles de contaminer le lait.....	5
I.5.1.Les mycotoxines	5
I.5.2.Pesticides.....	6
I.5.3.Éléments Traces Métalliques (ETM)	6
I.6.Classification des éléments traces métalliques	6
I.6.1.Métaux essentiels	6
I. 6.2. Métaux non-essentiels.....	7
I.7.Sources des éléments traces métalliques	8
I. 8. Pollution par les éléments traces métalliques	8
I.9.Eléments traces métalliques dans le lait	8
I.10.Effet toxique des éléments traces métalliques.....	10
Chapitre II : Matériel et Méthodes	11
II.1.Echantillonnage	11
II.2.Détermination des teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn, Cu)	12

II.2.1.Préparation de la verrerie.....	12
II.2.2.Digestion acide par voie humide des échantillons.....	12
II.2.3.Dosage des ETMs par spectrophotométrie d'absorption atomique.....	12
II.3.Évaluation des risques de toxicité des ETMs.....	14
II.3.1.Dose journalière estimée.....	14
II.3.2. Caractérisation du risque	14
II.4.Analyses statistiques	15
Chapitre III : Résultats et discussion.....	16
Résultats et discussion :	16
III.1.Courbes d'étalonnage.....	17
III.2.Détermination de la concentration des ETMs.....	19
III.2.1.Métaux toxiques	19
III.2.2. Eléments essentiels.....	21
III.3.Évaluation des risques de toxicité des ETMs	24
Conclusion :	28

Introduction

Le lait de vache est une source importante de protéines, de graisses, de vitamines et de minéraux, il est considéré comme un aliment complet (**Seyed et Ebrahim, 2012**). Il y a environ trente-huit micro et oligo-éléments qui ont été trouvés dans le lait cru de différentes régions du monde (**Dobrzański et al., 2005**). La teneur en minéraux dans le lait cru de vache varie en fonction de plusieurs facteurs dont la lactation, les pratiques agricoles, les saisons, les conditions climatiques, la composition de l'alimentation, l'état de santé des animaux et les conditions environnementales (**Yahaya et al., 2010**). De même, les conditions de transformation du lait peuvent également affecter la composition minérale du lait.

Actuellement, l'augmentation de la pollution environnementale a accéléré les problèmes de contamination du lait. La pollution peut augmenter la concentration en minéraux du lait; cette dernière devient toxique lorsque le niveau de la concentration dépasse 40 à 200 fois leur valeur seuil recommandée (**Rao, 2005**).

Les plus grands consommateurs du lait et des produits laitiers sont les enfants qui sont particulièrement vulnérables aux risques d'exposition aux métaux lourds. Le lait contient des minéraux essentiels tels que le fer (Fe), le zinc (Zn) et le calcium (Ca) ; cependant, il peut également être contaminé par certains métaux lourds toxiques comme le cadmium (Cd), le plomb (Pb), l'arsenic (As) et le mercure (Hg) (**Ismail et al., 2019**).

La contamination globale du lait par des polluants environnementaux et des composés xénobiotiques dans les denrées alimentaires (métaux lourds, mycotoxines, dioxines et autres polluants) est considérée comme un facteur de risque pour la santé publique. Les résidus de métaux dans le lait sont particulièrement préoccupants, car le lait est largement consommé par les nourrissons et les enfants. Les oligo-éléments non essentiels doivent être mesurés dans le lait et les produits laitiers pour des raisons de sécurité alimentaire (**Ismail et al., 2019**).

Les principales sources de contamination par les métaux lourds sont les effluents industriels ou domestiques, la combustion, la décomposition des engrais chimiques et des pesticides (**Degnon et al., 2012**). Les effets toxicologiques des métaux lourds sur la santé publique ont été largement étudiés ; l'exposition chronique aux métaux lourds peut provoquer des douleurs abdominales, une hépatotoxicité, une neurotoxicité avec une diminution du niveau de quotient intellectuel, la maladie d'Alzheimer, des lésions tissulaires, pneumopathie et le développement de cancers (**Muhib et al., 2016**).

En Algérie, il n'existe pas de réglementation claire sur les concentrations maximales des éléments traces métalliques dans les produits alimentaires ni une traçabilité de ces substances toxiques; et très peu d'études ont été effectuées pour doser les ETMs dans les produits laitiers. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'exposition du consommateur algérien aux éléments traces métalliques (plomb, cadmium, cuivre et zinc) à travers la consommation du lait de vache provenant de la région de Mostaganem ainsi que le lait industriel existant sur le marché. Les concentrations de Pb, Cd, Cu et Zn ainsi que les doses journalières estimées (DJE) et l'indice de risque (IR) dans ces produits laitiers sont évalués.

Chapitre I : Partie bibliographique

I.1.Définition du lait

Le lait est de couleur blanche, opaque, de saveur légèrement sucrée, et d'un pH légèrement acide (6.5 à 6.8) constituant un aliment complet et équilibré. Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme. La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24 h (**Fredot, 2006 ; Jeantet et al., 2008**).

Le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation (**Jeantet et al., 2008**).

I.2.Importance du lait

Le lait occupe une place importante dans la ration alimentaire de la population mondiale. Ce produit est irremplaçable pour les nourrissons, est aussi vital pour les autres tranches d'âge, du fait de son apport important en nutriments de base tels que les protéines, les lipides et glucides. En plus de sa richesse en éléments minéraux, notamment le calcium et en vitamines (**Jeantet et al., 2008 ; Marangoni et al., 2019 ; Timon et al., 2020**).

Cette matière alimentaire, source de protéines animales relativement bon marché et ayant une bonne digestibilité connaît une hausse croissante de sa demande, soit en tant que produit commercialisé à l'état de lait frais ou transformé en produits dérivés (fromages, beurre, laits fermentés, crèmes glacées...etc.) (**Marangoni et al., 2019**).

I.3.Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques

Le lait est un liquide blanc mat, légèrement visqueux, dont la composition et les caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon les espèces animales, et même selon les races. Ces caractéristiques varient également au cours de la période de lactation, de la traite ou de l'allaitement. Elles sont aussi tributaires de la nature de

l'alimentation des animaux. Il a un goût assez doux, légèrement âpre et parfois salé. A la traite et lors des transvasements, il forme une mousse abondante (**Ouadghiri et al., 2009**).

La densité spécifique du lait de vache est comprise dans un intervalle de 1,029 à 1,039 à 15°C. Elle diminue avec l'augmentation de la teneur en matière grasse, et augmente avec l'augmentation de la quantité de protéines, de sucre et des sels contenus dans le lait. Ainsi, le lait écrémé a une densité plus importante que le lait entier. Le pH du lait frais de vache est compris entre 6,5 et 6,75, l'acidité varie de 15 à 17°D, le point d'ébullition est à 100,5°C. , et enfin le point de congélation de -0,530°C à -0,575°C. (**Yennek, 2010**).

Une variation, même mineure du pH vers l'acidité, a des répercussions importantes sur l'équilibre des minéraux (formes solubles et insolubles) et sur la stabilité de la suspension colloïdale de caséines. Les éléments constituant le lait sont nombreux et forment un mélange à la fois sur le plan physique et chimique. La matière grasse du lait se retrouve sous forme de petites gouttelettes ou globules entourés par une membrane et émulsionnés dans le lactosérum (**Danthine et al., 2000**).

I.4. La composition du lait

Le lait est un fluide biologique extrêmement complexe constitué d'environ 90 % d'eau. Il comprend une solution vraie (sucres, protéines solubles, minéraux et vitamines hydrosolubles), une solution colloïdale (protéines dont les caséines) et une émulsion (matières grasses). Chaque espèce de mammifère présente la même composition globale, mais les proportions des divers constituants diffèrent (**Bourlieu et Michalski, 2015**).

Le lait peut apporter une contribution significative aux besoins nutritionnels recommandés en calcium, magnésium, sélénium, riboflavine, vitamine B12 et acide pantothénique (**FAO, 2017**), ces derniers varient en fonction d'une multiplicité de facteurs : race animale, alimentation et état de santé de l'animal, période de lactation, ainsi qu'au cours de la traite.

D'un point de vue quantitatif, le lait se compose d'éléments majeurs et d'éléments mineurs. Parmi les éléments majeurs, on peut citer l'eau, la matière grasse, le lactose, les protéines et les matières salines (**tableau 1**). Et comme éléments mineurs : les vitamines,

les oligo-éléments, les gaz dissous, la lécithine, les enzymes et les nucléotides (Singhal et al., 2017).

Tableau 1: Composition moyenne du lait de vache (Fayolle, 2015).

Eau 900 à 910 g/l				
Matières sèches (MS) 125 à 135 g/l	Matière grasse	Glycériles 35 à 40 g/l		
	38 à 44 g/l	Phospholipides 0,1 à 0,3 g/l		
		Stérides 0,1 à 0,2 g/l		
	Lactose 47 à 52 g/l (38% MS)			
	Matière azotée totale 29 à 38 g/l	Matières protéiques (95% Matière azotée totales) 28 à 36 g/l	Protéines 32 à 34 g/l	Caséines 27 à 30 g/l
				Albumines 2 à 3 g/l
				Globulines 3 à 5 g/l
				Acides aminés 0,5 à 1,5 g/l
			Urée 200 à 300 mg/l	
	Matière minérale 7 à 8 g/l			
Vitamines				

I.5.Métabolites et micropolluants susceptibles de contaminer le lait

I.5.1.Les mycotoxines

Les mycotoxines sont des sous-produits toxiques (toxines) issues du métabolisme secondaire des moisissures (champignons). Il existe des dizaines de champignons potentiellement producteurs de toxines, mais les groupes de mycotoxines les plus importants du point de vue sanitaire et agroalimentaire sont les suivants : les aflatoxines, les ochratoxines (particulièrement l'ochratoxine A), la patuline, la zéaralénone, les fumosines, les trichothécènes et tout spécialement le déoxynivalénol (Flores-Flores et al., 2015 ; Becker-Algeri et al., 2016 ; Tsatsakis et al., 2018).

I.5.2.Pesticides

La Food and Agriculture Organization (FAO) définit ainsi les pesticides (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) : « toute substance ou association de substances qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs ».

Les pesticides sont utilisés aussi bien pour la protection des cultures servant à l'alimentation du bétail que pour le traitement des étables ou celui des animaux eux-mêmes. Ce sont des toxiques cumulatifs, leur stockage se fait dans les tissus riches en graisses (effet de bioaccumulation et bioamplification dans la chaîne alimentaire). Le métabolisme de ces composés peut aussi comporter des réactions de conjugaison avec du glutathion ou de l'acide glucuronique. Les métabolites obtenus peuvent être éliminés via les fèces, via les urines s'ils sont suffisamment polaires, mais aussi, et c'est justement l'un des éléments sanitaires problématiques, dans le lait (de vache, de femme...) (Docea et al., 2017 ; Raslan et al., 2018 ; Aloizou et al., 2020).

I.5.3.Éléments Traces Métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques se trouvent naturellement dans notre environnement, dont certains d'entre eux, oligo-éléments, sont essentiels pour le bon fonctionnement des cellules à des faibles concentrations (Li et al., 2017 ; Lin et al., 2020).

On utilise également l'expression métaux lourds, qui correspond à une définition physique (masse volumique supérieure à 5 g/cm³) ou bien oligo-éléments. Les ETM les plus connus pour leur dangerosité sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le zinc (Zn). Il faut ajouter à cette liste l'arsenic (As) et le sélénium (Se), qui ne sont que des Eléments Traces et pas des métaux (Haydon et Cobett, 2007 ; Part et al., 2012).

I.6.Classification des éléments traces métalliques

I.6.1.Métaux essentiels

Les métaux essentiels font partie des nutriments, il s'agit de substances qui ont une fonction biologique et dont le corps humain a besoin, mais que nous ne produisons pas, comme le fer. Nous devons ingérer ces métaux via alimentation, où ils sont présents

naturellement ou à laquelle ils sont parfois ajoutés intentionnellement. Ils existent en faible concentrations dans les tissu biologiques (Lin et al., 2020). Certains peuvent devenir toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil comme le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le fer (Fe) (Kabata-Pendias et Pendias, 2001) (tableau 2).

Tableau 2: Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (Hopkin, 1989).

Eléments essentiels majeurs	Oligo-éléments essentiels	Eléments "essentiels" en ultra trace	Eléments nonessentiels
- Calcium	- Fer	-Lithium	-Plomb
- Phosphore	- Iode	- Fluor	- Cadmium
- Potassium	- Cuivre,	- Aluminium	- Mercure
- Soufre	- Manganèse	- Étain	
- Magnésium	- zinc		
- Chlore	- Cobalt		
- Sodium	- Molybdène		
	- Sélénium		
	- Chrome		
	- Nickel		
	- Vanadium		
	- Silicone		
	- Arsenic		

I. 6.2. Métaux non-essentiels

Les métaux non essentiels ne sont pas nécessaires à notre corps. En fonction des quantités ingérées, ils peuvent même être toxiques. C'est pourquoi ces métaux sont soumis à la législation sur les contaminants. Il s'agit notamment du plomb, du cadmium et du mercure, qui en raison de leur densité élevée sont également appelés métaux lourds (Rinklebe et al., 2019).

Les métaux non essentiels peuvent contaminer les aliments par différents moyens. Les plantes absorbent ces métaux depuis le sol ou sont polluées par les retombées de poussières. Les poissons, les produits de la pêche et les algues peuvent absorber ces métaux à partir de l'eau dans laquelle ils sont élevés, cultivés ou pêchés. La viande peut contenir des métaux lorsque les animaux les ingèrent via leur alimentation. Ces métaux s'accumulent dans certains organes comme le foie et les reins. Plus longue est la vie d'un animal, plus sa chair et ses organes contiennent des métaux (**Hashemi, 2020**).

I.7.Sources des éléments traces métalliques

Les métaux lourds sont des constituants naturels de la croûte terrestre. Les principales sources naturelles des ETM sont l'exploitation minière (Pb, Zn, Ar), l'érosion des métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments, les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines (**Antoniadis et al., 2019**).

L'activité humaine représente le second moyen d'émission des métaux. Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation du flux métaux, sont les rejets urbains et industriels, la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle (**tableau 3**) (**Beckers et Rinklebe, 2017; Rinklebe et al., 2019**).

I. 8. Pollution par les éléments traces métalliques

La contamination d'un milieu par les métaux lourds désigne une augmentation des teneurs totales de ces éléments dans le milieu suite à des apports anthropiques importants. Selon **Akujobi (2012)**, les métaux lourds constituent de sérieux polluants environnementaux, en particulier dans les zones à haute pression anthropique ; leur présence dans l'atmosphère, le sol et l'eau, même sous forme de traces, peut causer de graves problèmes à tous les organismes.

I.9.Eléments traces métalliques dans le lait

Les produits laitiers et en particulier le lait contiennent des nutriments qui sont cruciaux pour maintenir le bon fonctionnement physiologique de chaque individu. Ils représentent une bonne source de lipides, de protéines, de glucides, de minéraux, d'acides organiques, d'enzymes et de vitamines (**Dobrzanski et al., 2005 ; Khan et al., 2014 ; Astolfi et al., 2020**). Leur consommation régulière est donc largement recommandée.

Tableau 3 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Brignon, 2005)

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

Cependant, le lait et les autres produits laitiers peuvent contenir des quantités variables de différents contaminants toxiques qui sont nocifs pour la santé lorsqu'ils dépassent les seuils autorisés (Arianejad et al., 2015). Ces produits sont souvent contaminés par les métaux lourds soit par des pratiques d'élevage, soit par des procédés de fabrication et d'emballage (Ayar et al., 2009).

L'exposition de la vache à un environnement contaminés ou la consommation de l'eau et des plantes contenant des niveaux élevés de métaux lourds peuvent conduire par la suite à la contamination du lait (Hashemi, 2020). Au cours des processus industriels (production et emballage), la teneur en éléments traces peut considérablement augmenter (Lahiji et al., 2016).

I.10.Effet toxique des éléments traces métalliques

La contamination des aliments par les ETM a une série d'effets néfastes sur la santé humaine. Les métaux non-essentiels peuvent échapper aux mécanismes de contrôle et par la suite peuvent entraîner : la liaison avec des constituants cellulaires spécifiques, la compartimentation, l'homéostasie, le dysfonctionnement des processus cellulaires, la détérioration oxydative.

Ces métaux ont donc des effets très toxiques et mortels. Les symptômes les plus importants de la toxicité des ETM chez l'homme sont : la déficience intellectuelle chez les enfants, les troubles du système nerveux central, la dépression chez les adultes, l'insomnie, les pathologies des reins et du foie, l'instabilité émotionnelle et les troubles de la vision (**Flora et al., 2008 ; Jan et al., 2011 ; Gupta et al., 2019**). La toxicité des métaux chez l'homme dépend principalement de la génération d'un stress oxydatif, qui se caractérise par :

a) une production accrue de ROS , b) une diminution/dégradation des antioxydants intracellulaires et des piègeurs de radicaux libres et, c) une inhibition/réduction du métabolisme et des enzymes liées à la détoxification (**Gupta et al., 2019**). Bien que la toxicité résultant d'une exposition soudaine ou professionnelle à des quantités importantes de métaux affecte généralement les systèmes organiques, la gravité de la toxicité dépend du type et de la forme des ETM, de la voie et de la durée d'exposition, ainsi que de la sensibilité de l'individu (**Duruibe et al., 2007 ; Jan et al., 2011; Gupta et al., 2019**).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1.Echantillonnage

La présente étude a été réalisée sur un total de 12 échantillons de lait. Y compris, sept échantillons de lait de vache qui ont été collectés de plusieurs régions de la wilaya de Mostaganem, et cinq lait industriel obtenu d'un supermarché au niveau de la wilaya de Mostaganem pendant le mois d'Avril 2021 (**tableau 4**). Les échantillons ont été collectés dans des flacons préalablement stérilisés.

Tableau 4 : Echantillons utilisés dans cette étude.

Échantillons	Code	Région
Lait de vache	LV1	Mazagran
	LV2	Monadour
	LV3	Dradeb
	LV4	Ouillis
	LV5	Hassi Mameche
	LV6	Tounine
	LV7	Stidia
Lait industriel	LI1	
	LI2	
	LI3	
	LI4	
	LI5	

II.2.Détermination des teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn, Cu)

II.2.1.Préparation de la verrerie

Pour éviter le risque de contamination des échantillons par des métaux lourds, tous les tubes à essai et la verrerie utilisés ont été nettoyés, rincés à l'eau du robinet, puis immergés dans de l'eau distillée contenant 10 % d'acide nitrique pendant 24 heures (ISO, 1994).

II.2.2.Digestion acide par voie humide des échantillons

La minéralisation des échantillons est une étape obligatoire avant le dosage des éléments traces métalliques. Elle permet de limiter ou d'éliminer les interférences liées à la présence de la matière organique.

Un prélèvement de 5g de chaque échantillon est effectué et mélangé avec un volume de 5 mL d'acide nitrique HNO_3 (65%) et de 2 mL de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (30%). Les béchers sont posés sur une plaque chauffante à 90 °C, ensuite la température est progressivement augmentée à 120 °C. Une fumée brune va apparaître indiquant l'oxydation de la matière organique. Après l'évaporation totale de la solution et le refroidissement des béchers, les échantillons sont complétés à 50 ml avec de l'eau distillée et filtrés par la suite (Peters, 2003).

II.2.3.Dosage des ETMs par spectrophotométrie d'absorption atomique

II.2.3.1Appareillage

La spectroscopie d'absorption atomique est une technique qui permet la détection ainsi que la concentration d'un élément dans une solution basée sur le principe de l'absorption de lumière. Chaque élément trace possède un processus d'absorption propre à lui. La longueur d'onde du faisceau lumineux absorbé nous indique la présence de l'élément tandis que son intensité détermine la concentration. L'analyse est réalisée sur un spectromètre d'absorption atomique à flamme Shimadzu AA-7000 (**figure 1**). Cet appareil comprend les analyses en mode flamme pour les solutions les plus concentrées, ainsi que l'atomisation en mode four graphite pour les concentrations à l'état de traces.

II.2.3.2. Courbes d'étalonnage

Pour chaque élément étudié, une courbe d'étalonnage a été réalisée en mesurant l'absorbance des standards (0,1-2 ppm) à des longueurs d'onde de l'ordre de 217, 228.8, 213.86, et 324.75 nm respectivement pour le plomb, le cadmium, le zinc et le cuivre.

II.2.3.3. Analyse des échantillons

Afin de déterminer les concentrations en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn et Cu) dans les échantillons étudiés, l'absorbance des solutions préalablement préparés par la digestion humide a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique. Pour chaque élément, une lampe spécifique a été utilisée.

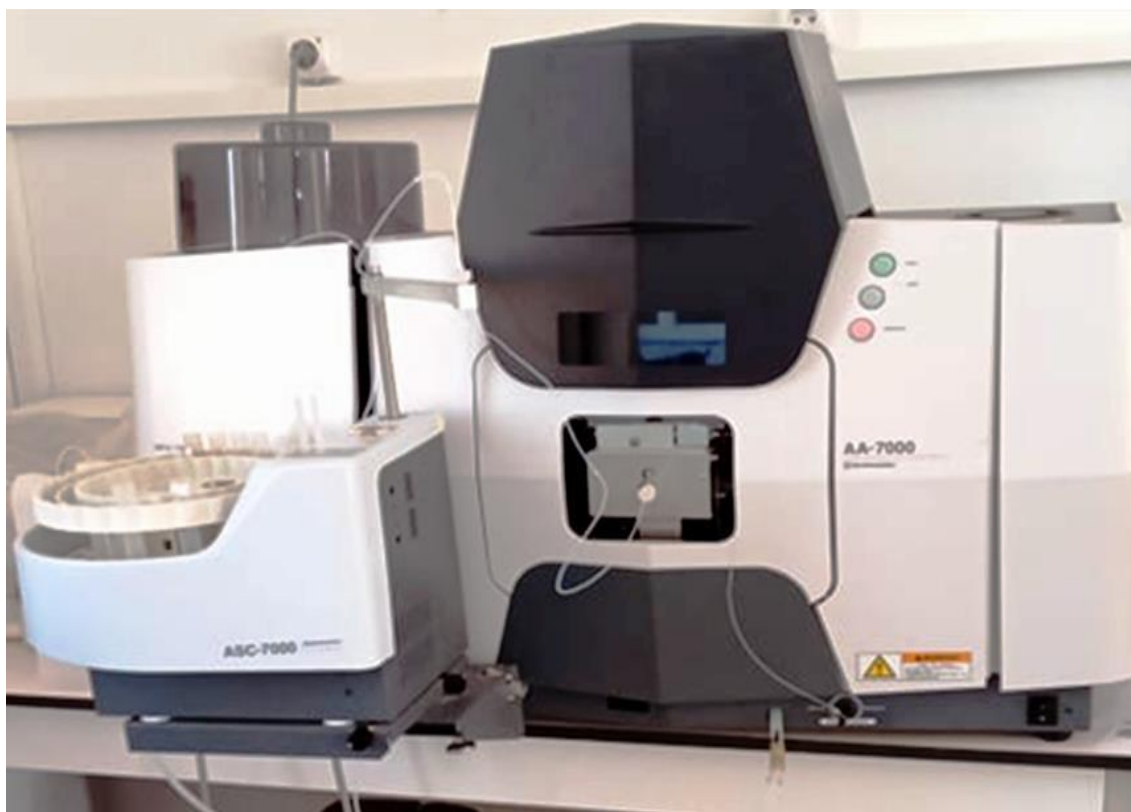


Figure 1: Spectrophotomètre à absorption atomique (Shimadzu, AA-7000)

II.3.Évaluation des risques de toxicité des ETMs

II.3.1.Dose journalière estimée

L'évaluation des risques liés aux ETMs pouvant se trouver dans les aliments, prend en compte les résultats d'études toxicologiques réalisées chez l'animal afin d'établir une dose journalière ou hebdomadaire tolérable pour l'homme.

La dose journalière estimée (DJE) des éléments traces métalliques dépend à la fois de la concentration en ETMs dans les aliments, et de la consommation alimentaire quotidienne. De plus, le poids corporel peut influencer la tolérance aux contaminants. La DJE des éléments traces métalliques a été déterminé par l'équation suivante :

$$\text{DJE} = (\text{C métal} \times \text{Q aliment}) / \text{P (mg/ kg de poids corporel / jour)}.$$

C métal : Concentration des ETMs dans les produits étudiés (mg/kg).

Q aliment : Quantité de lait ingérée par jour (kg/j).

P : Poids corporel (kg).

La consommation journalière moyenne (200g par personne par jour), et le poids corporel moyen (20 kg pour les enfants, 75 kg pour les hommes et 65 kg pour les femmes). (Miclean *et al.*, 2019).

II.3.2. Caractérisation du risque

La caractérisation du risque pour les effets à seuil est exprimée par l'indice de risque IR (ou le quotient de danger). Il est calculé pour la voie d'exposition orale de la manière suivante :

$$\text{IR} = \text{DJE/DJA}$$

DJE : Dose journalière estimée (mg/kg/j).

DJA : Dose journalière admise (mg/kg/j). DJA : Cd = 0.01 mg/kg ; Pb=0.035 mg/kg ; Cu = 0.4 mg/kg ; le Zn = 0.33mg/kg.

Si **IR**<1, la survenue d'un effet toxique est très probable,

Si **IR**> 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue (Miclean *et al.*, 2019).

II.4. Analyses statistiques

Chaque expérience a été indépendamment répétée deux fois. Pour le traitement des données, l'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Statbox version 6.4 (1999)

Chapitre III : Résultats et discussion

Résultats et discussion :

Le lait est un enjeu nutritionnel important car il est le premier aliment reçu par le nouveau-né, lui fournissant tous les nutriments essentiels. Le premier lait secrété après la parturition, le colostrum, apporte notamment une protection immunitaire fondamentale au nouveau-né, grâce à sa richesse en anticorps, et notamment chez les ruminants en raison des particularités de leur placenta qui font que les anticorps ne franchissent pas la barrière placentaire (**Gabriël et al., 2005**).

Le lait contient des protéines, de la matière grasse, du lactose, des minéraux (dont le calcium) et différents autres constituants mineurs. Ces constituants et leurs structures conditionnent les propriétés physico-chimiques du lait, jouant un rôle sur les propriétés nutritionnelles, sensorielles et technologiques (**Billa, 2020**). Cependant, certains polluants, tels que les mycotoxines, les résidus de métaux et les pesticides, contaminent fréquemment ce produit. Cette contamination peut avoir lieu au cours de l'élevage, durant les procédés de fabrication et d'emballage (**Hashemi, 2020**).

Le contrôle des éléments traces métalliques dans le lait, qui sont largement consommés par les êtres humains, est nécessaire (**Guler, 2007**). Certains éléments ont des effets cumulatifs, il est donc crucial de suivre leur teneur dans les aliments (**Zhuang et al, 2009**). Le système immunitaire des enfants touchés par la toxicité du Pb ou du Cd (**FAO, 2009**) est dû au développement incomplet. Par conséquent, la surveillance du lait et des produits laitiers doit être strictement contrôlée (**Sieber et al, 2006**).

Afin de doser ces éléments toxiques dans les aliments, il existe plusieurs méthodes. Certaines méthodes utilisent la fluorescence X pour mesurer cette concentration directement sur l'échantillon solide. Cependant, en chimie analytique, il est plus précis de prendre des mesures sur une solution en utilisant la spectroscopie atomique. Il s'agit d'une technique permettant de doser un grand nombre d'oligo-éléments métalliques dans une solution. Elle permet l'administration de très faibles concentrations d'ETM. C'est une stratégie appropriée car elle est rapide, facile et pratique.

III.1. Courbes d'étalonnage

La réalisation des courbes d'étalonnage est une étape essentielle afin de quantifier les éléments trace métallique dans les échantillons des laits sélectionnés (vache, industriels). Ces courbes d'étalonnage ont été effectuées en utilisant un spectrophotomètre à absorption atomique, en lisant l'absorbance des différentes concentrations des standards (0,1-2 ppm). Les courbes d'étalonnage du plomb (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn), et du cuivre (Cu) sont représentées respectivement sur les figures 2-5.

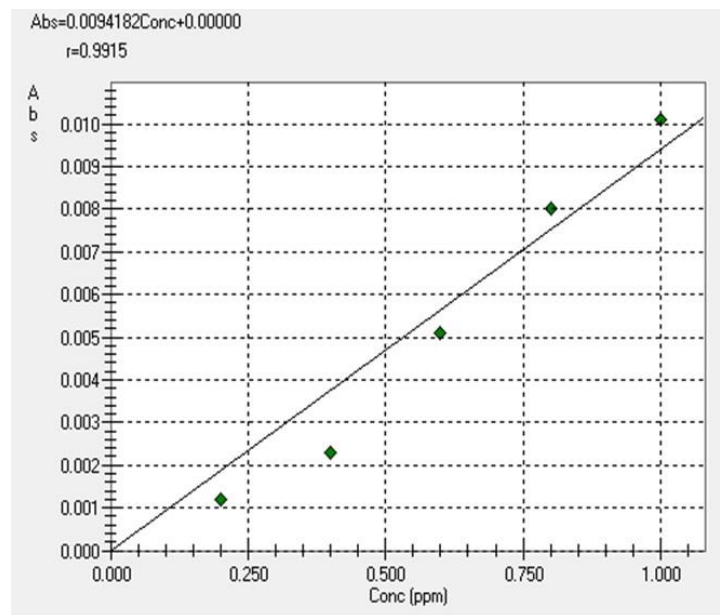


Figure 2: Courbe d'étalonnage du plomb.

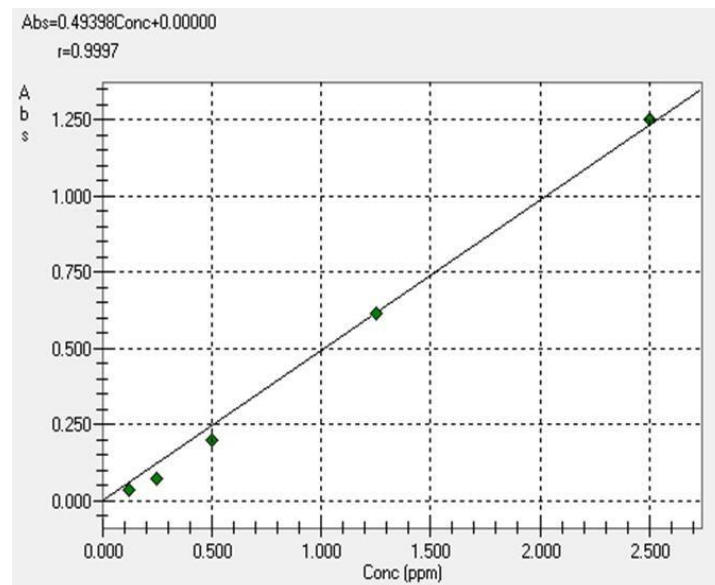


Figure 3: Courbe d'étalonnage du cadmium.

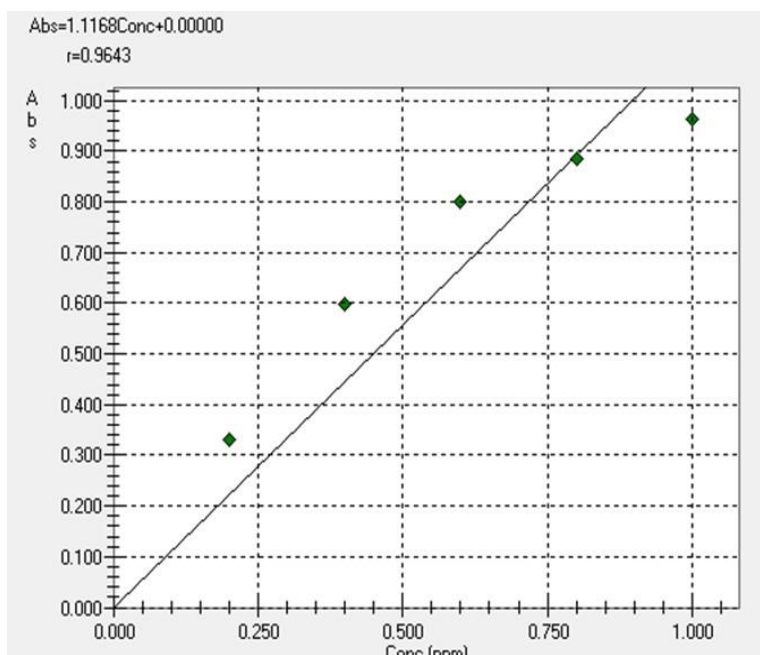


Figure 4: Courbe d'étalonnage du zinc.

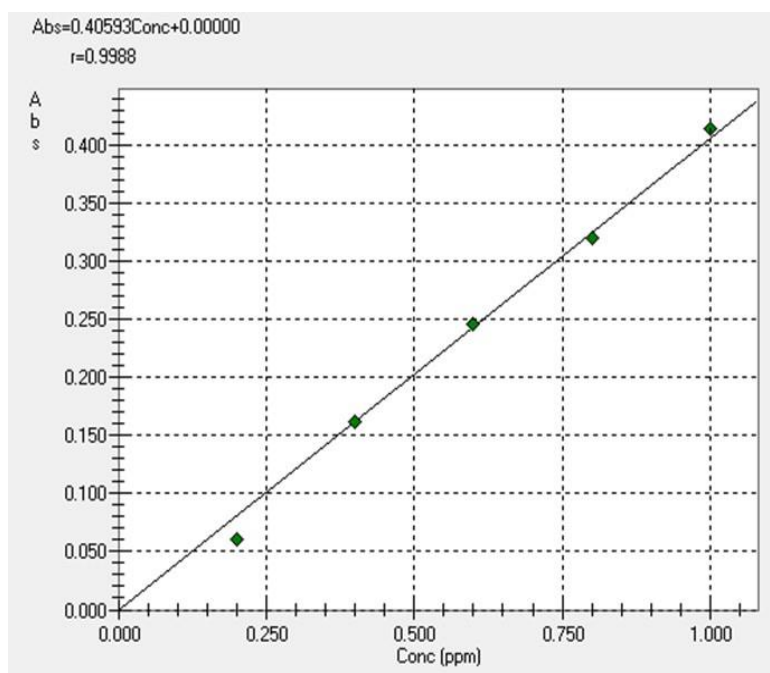


Figure 5: Courbe d'étalonnage du cuivre.

III.2.Détermination de la concentration des ETMs

Les résidus de métaux dans le lait sont particulièrement préoccupants car le lait est largement consommé par les nourrissons et les enfants. Les oligo-éléments non essentiels doivent être mesurés dans le lait et les produits laitiers pour la sécurité alimentaire. Les teneurs en plomb, cadmium, zinc et cuivre ont été déterminées dans 12 échantillons de laits de vache et laits industriels.

III.2.1.Métaux toxiques

Après analyse des métaux toxiques par SAA, il s'est avéré qu'aucune trace de plomb n'a été détectée dans tous les échantillons analysés. Il se peut que les taux de cet élément soit inférieur à la limite de détection comme l'analyse a été effectuée avec la flamme ce qui donne des résultats en ppm (mg/kg) alors que le four de graphite nous permet d'avoir des résultats de l'ordre de ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

L'ingestion de métaux toxiques, même à de faibles concentrations et sur une longue période, entraîne de graves problèmes de santé. Ces éléments s'accumulent dans différentes parties du corps et affectent principalement la reproduction et la croissance et ont souvent des effets toxiques physiologiques directs. Outre le fait qu'ils affectent divers systèmes biologiques tels que le système nerveux central et périphérique, le système digestif et le système génital, les métaux toxiques participent même à la formation de la résistance aux antimicrobiens chez les êtres humains, indirectement en affectant le système immunitaire (**Mathaiyan et al., 2020**).

Une concentration élevée de plomb dans les aliments est associée à des maladies cardiovasculaires, rénales, nerveuses et du système squelettique. L'exposition chronique au plomb provoque des anomalies du développement, des déficits du quotient intellectuel, une neurotoxicité chez les nourrissons, de la constipation, des coliques et de l'anémie (**Taghizadeh et al., 2020 ; Mathaiyan et al., 2020**).

En ce qui concerne le cadmium, le lait de vache provenant de différentes régions contenait des concentrations proches qui varient de 0.061 à 0.089 mg/kg, alors que les laits industriels contenaient des valeurs plus importantes (0.075-0.304 mg/kg) à l'exception de

LI3 qui avait le contenu en cadmium le plus faible (0.036 mg/kg) qui peut être expliqué par son faible contenu en matière sèche par rapport aux autres échantillons (**figure 6**).

En comparant ces résultats à la littérature, ces valeurs restent inférieures à celles rapportées par (**Ali et al.,2011**) au Nigeria (0,59 mg/L) ; (**Abdul et al.,2012**) en Palestine (0,66 mg/L) et (**Malhat et al.,2012**) en Égypte (2,836 mg/L) ; et plutôt ressemblent à celle trouvées par (**Chirinos-Peinado et Castro-Bedriñana2020**) en Pérou (0.011-0.032 mg/kg).

Selon le Codex Alimentarius, les valeurs limites du cadmium dans le lait est 0.01 mg/kg. Tous les laits analysés avaient des valeurs supérieures aux normes étaient. Le lait industriel LI1 représentait plus que trente fois les concentrations autorisées. Le cadmium (Cd) est l'un des métaux lourds les plus toxiques en raison de sa longue demi-vie (15-30 ans) et de ses effets sur la santé humaine, tels que des effets tératogènes, cancérigènes, hépatotoxiques et néphrotoxiques (**Flora et Agrawal, 2017; Zhong et al., 2018**).

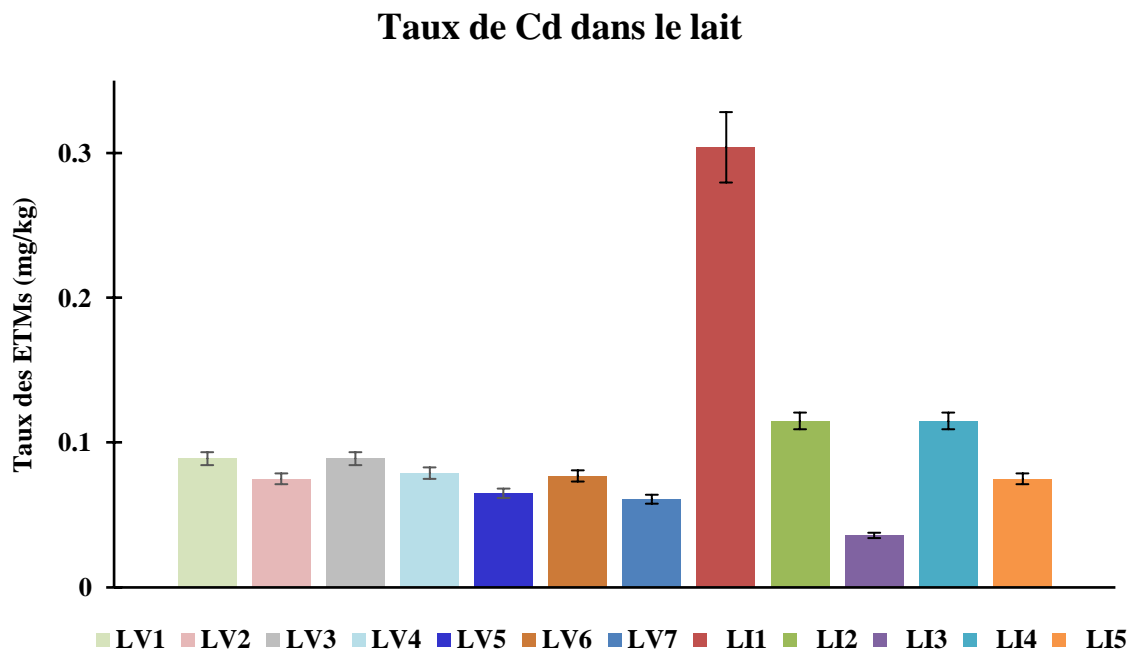


Figure 6: Concentrations du cadmium dans le lait de vache et le lait industriel

Il peut être bioaccumulé dans divers tissus, notamment le foie et les reins, ce qui amplifie les effets délétères sur la santé humaine. L'exposition au Cd est souvent mélangée à des sources d'émissions industrielles telles que les opérations minières. Les principales utilisations industrielles du Cd sont la galvanoplastie, les pigments, les plastiques, et les piles rechargeables Ni-Cd (**Flora and Agrawal, 2017**).

Selon (**Rodriguez et al.1999**), l'augmentation du Cd dans le lait est associée à la teneur en protéines. Ce qui justifie que le Cd est principalement associé à la fraction protéique (fraction caséine) obtenue par les enzymes de la coagulation. Les sources de contamination du lait au cadmium peuvent être associées au sol, l'eau et le fourrage.

Le cadmium est un élément très toxique qui n'a aucune fonction connue dans le corps. Lorsqu'il pénètre dans l'organisme, par ingestion ou inhalation, il passe dans le sang et s'accumule dans le foie, et provoque également des troubles rénaux (**Rana et al., 2018**). Il est également très proche du calcium, et à ce titre est capable d'interagir avec le calcium contenu dans les os. Il peut ainsi se substituer au calcium osseux et modifier les propriétés mécaniques du squelette en créant une porosité osseuse, une déformation des os, des fractures et un ratatinement progressif du corps (**Wu et al., 2020**).

III.2.2. Eléments essentiels

Les résultats obtenus pour les deux éléments essentiels (le cuivre et le zinc) dans le lait (vache et industriel) sont indiqués respectivement dans les figures 7 et 8. En ce qui concerne le zinc, les valeurs de cet élément essentiel dans le lait industriel était de l'ordre de 0.095 à 0.303 mg/kg, sachant que la limite autorisée est 0.33 mg/kg.

En ce qui concerne le lait de vache, le taux du zinc était généralement plus important que celui du lait industriel à l'exception de LV4 et LV6 qui correspondent à la région de Tounine et Ouillis avec des valeurs de 0.070 et 0.089 mg/kg respectivement. Tout le reste des laits de vache étaient dans les normes à l'exception de LV7 qui provient de Stidia avec une valeur de 6.351 mg/kg qui représente 19 fois la norme maximale du zinc autorisée.

Dans une étude menée par (Ozrenk,2002), 31 échantillons de lait de vache provenant des régions polluées ont été analysés pour leur contenu en zinc, une moyenne de 3.003 mg/kg a été obtenue, alors que (Dawg et al ., 2012) ont trouvé 4. 923 mg/kg.

Le zinc est essentiel à la croissance normale, au développement et au système immunitaire des nourrissons. Le zinc dans le corps, a la plus grande concentration dans la couche rétinienne et les organes reproducteurs (liquide prostatique). Une petite quantité dans le foie sert de dépôt pour répondre aux besoins immédiats (Salgueiro et al., 2002).

Taux de Zn dans le lait

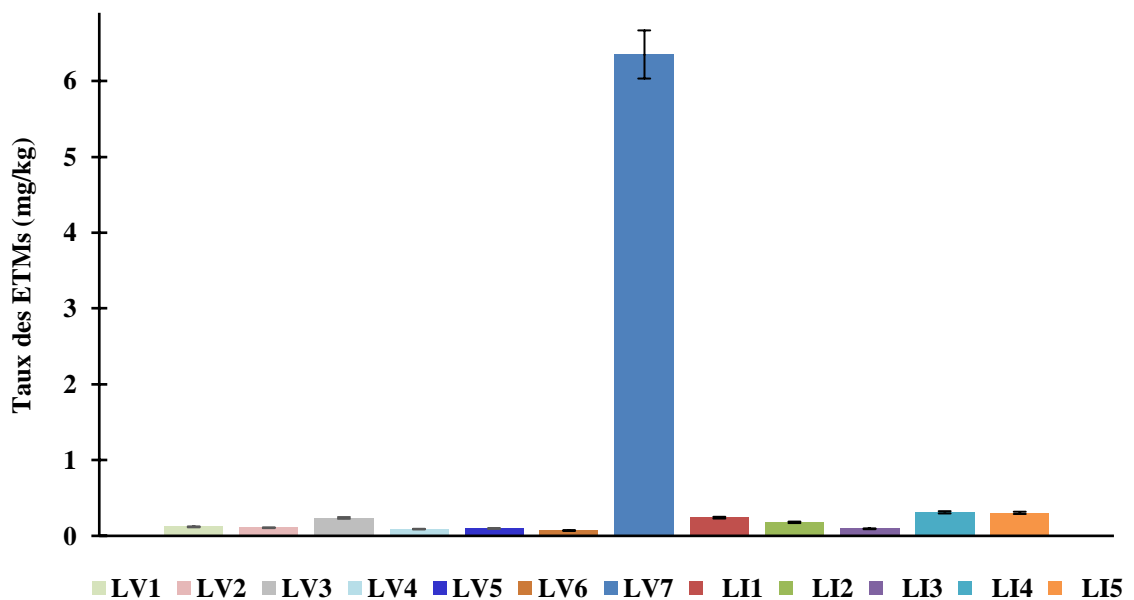


Figure 7: Concentrations du zinc dans le lait de vache et le lait industriel

Le zinc est un oligoélément dont les besoins de la vache laitière sont couverts par différents sources alimentaires. En termes d'apports alimentaires, il faut retenir que pour les minéraux, les teneurs des fourrages sont assez variables, alors que celles des aliments concentrés sont relativement stables (Cuvelier et al., 2013). Par conséquent, l'apport du fourrage en zinc ou en cuivre doit être pris en considération lors de la détermination de ses teneurs dans le lait pour déduire l'origine de contamination.

En ce qui concerne le cuivre, des valeurs inférieures aux doses maximales admises (0.4 mg/kg) ont été enregistrées. Le lait contenant le plus de cuivre était LI1 avec une valeur de 0.084 mg/kg suivie de LV4 (lait de vache provenant de Ouillis) avec une valeur de 0.064 mg/kg. Les autres valeurs variaient entre 0.010 à 0.039 mg/kg pour les laits industriels et 0.017 à 0.034 mg/kg pour le lait de vache avec la région de Monador avec la plus faible valeur et Mazagran la plus importante.

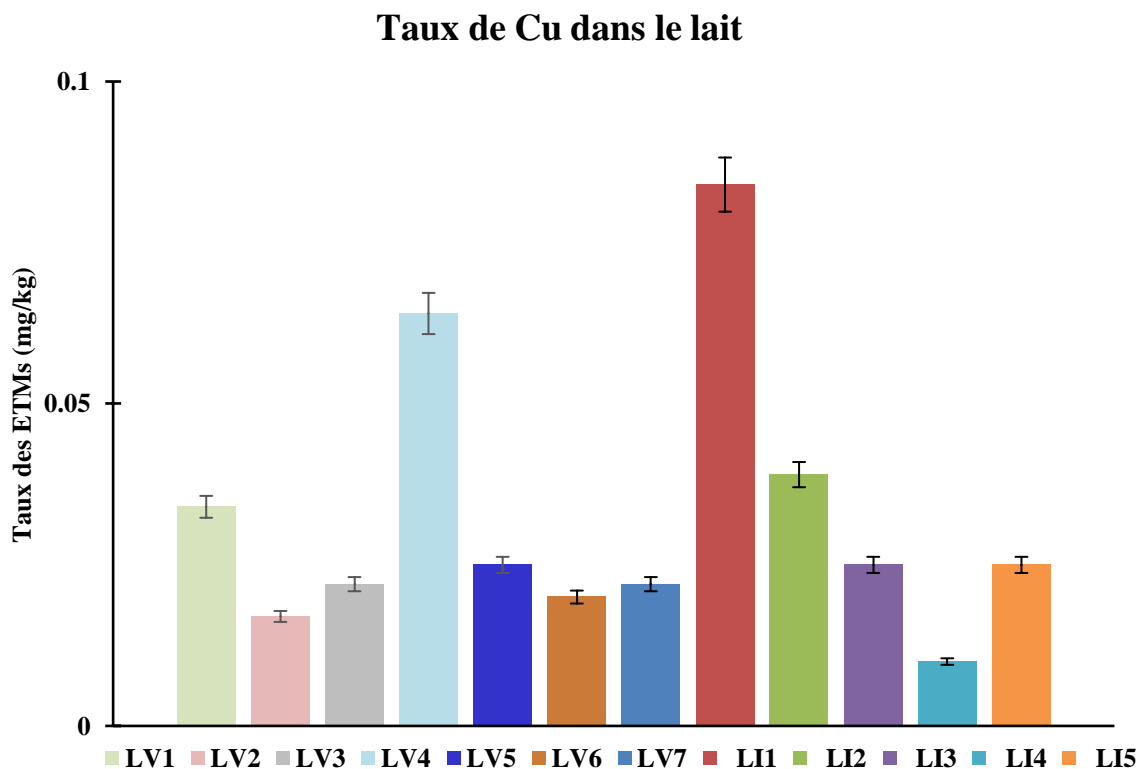


Figure 8: Concentrations du Cuivre dans le lait de vache et le lait industriel

Ces concentrations sont vraiment inférieures aux valeurs obtenues par (Malhat et al., 2012) et (Islam et al., 2015) en Égypte et au Bangladesh respectivement, qui ont rapporté une moyenne de 2.836 mg/L et 2.3 mg/L respectivement. (Alem et al., 2015) ont rapporté une moyenne de 0,206 mg/L de cuivre dans le lait de vache provenant de différentes régions en Ethiopie. Selon (Mitchell, 1981), l'alimentation animale, et plus particulièrement l'eau de boisson, est le facteur le plus important dans la contamination du lait au cuivre.

Le cuivre est essentiel à la santé humaine. Il est également nécessaire aux réactions du métabolisme qui ont lieu dans notre corps. Le cuivre n'étant pas synthétisé par l'homme, il est fourni par notre alimentation. Le corps d'un adulte contient 1.4 à 2.1 mg de cuivre par kg de poids corporel. Dans l'organisme, le cuivre active les enzymes qui agissent comme des catalyseurs (Bost et al., 2016).

Outre les réactions biochimiques, le cuivre contribue également à la transformation, au développement et à la réticulation des tissus d'élastine, à l'entretien et à la réparation des tissus conjonctifs. Il est également établi que le cuivre est important pour le système cardiovasculaire et que sa carence prédispose à un risque accru de développer une maladie coronarienne (Bost et al., 2016).

Le cuivre aurait également des propriétés anti-inflammatoires, anti-ulcéreuses et anticonvulsivantes. Le régime alimentaire doit fournir une quantité adéquate de cuivre nécessaire aux processus physiologiques de l'organisme. Le cuivre est également nécessaire à la croissance normale et saine des plantes et des animaux, ce qui, à son tour, peut être bénéfique aux humains par le biais des chaînes alimentaires (Bost et al., 2016).

La carence en cuivre et, à l'inverse, la présence de quantités excessives dans l'organisme sont deux situations inquiétante pour la santé humaine. La toxicité aiguë du cuivre prédispose à divers états pathologiques et peut entraîner la mort dans les cas graves. L'exposition chronique au cuivre produit une hépatotoxicité et des problèmes neurologiques. L'effet toxique du cuivre est dû à sa capacité à incorporer et à libérer des électrons. Cela entraîne la production des radicaux libres et produit en fin de compte un stress oxydatif qui joue un rôle important dans divers processus pathologiques (Bost et al., 2016 ; Royer et al., 2020).

III.3.Évaluation des risques de toxicité des ETMs

La dose journalière estimée DJE d'un ETM exprimée en mg par unité de masse corporelle standardisé (par exemple 60 kg) est l'estimation de la dose présente dans les aliments exprimée en fonction de la masse corporelle, qui peut être quotidiennement ingérée pendant toute la vie, sans risque appréciable pour la santé du consommateur

Les valeurs des doses journalières estimées (DJE) pour le cadmium, le cuivre, et le zinc sont présentées dans les tableaux 5, 6 et 7 respectivement.

Tableau 5: Dose journalière estimée et indice de risque pour le cadmium.

Échantillons	DJE (mg/ kg / jour)			IR		
	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)
LV1	0.24x10 ⁻³	0.27x10 ⁻³	0.89x10 ⁻³	0.023	0.027	0.089
LV2	0.2x10 ⁻³	0.23x10 ⁻³	0.75x10 ⁻³	0.020	0.023	0.075
LV3	0.24x10 ⁻³	0.27x10 ⁻³	0.89x10 ⁻³	0.024	0.027	0.089
LV4	0.21x10 ⁻³	0.24x10 ⁻³	0.79x10 ⁻³	0.021	0.024	0.079
LV5	0.17x10 ⁻³	0.2x10 ⁻³	0.65x10 ⁻³	0.017	0.020	0.065
LV6	0.21x10 ⁻³	0.24x10 ⁻³	0.77x10 ⁻³	0.020	0.024	0.077
LV7	0.16x10 ⁻³	0.19x10 ⁻³	0.61x10 ⁻³	0.016	0.019	0.061
LI1	0.81x10 ⁻³	0.94x10 ⁻³	3.04x10 ⁻³	0.081	0.093	0.304
LI2	0.31x10 ⁻³	0.35x10 ⁻³	1.15x10 ⁻³	0.030	0.035	0.115
LI3	0.09x10 ⁻³	0.11x10 ⁻³	0.36x10 ⁻³	0.009	0.011	0.036
LI4	0.31x10 ⁻³	0.35x10 ⁻³	1.15x10 ⁻³	0.030	0.035	0.115
LI5	0.2x10 ⁻³	0.23x10 ⁻³	0.75x10 ⁻³	0.020	0.023	0.075

Selon les résultats, on remarque qu'il existe une grande différence entre les doses journalières des différents laits ($p < 0.05$). Ces valeurs varient aussi entre les hommes, les femmes et les enfants car elles dépendent du poids corporel. Les enfants ayant le poids corporel le plus faible ont une DJE plus importante, suivie des femmes, et en dernier lieu les hommes.

Tableau 6: Dose journalière estimée et indice de risque pour le cuivre

Échantillons	DJE (mg/ kg / jour)			IR		
	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)
LV1	0.90×10^{-4}	1.04×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0.22×10^{-3}	0.26×10^{-3}	0.85×10^{-3}
LV2	0.45×10^{-4}	0.52×10^{-4}	1.7×10^{-4}	0.11×10^{-3}	0.13×10^{-3}	0.42×10^{-3}
LV3	0.58×10^{-4}	0.67×10^{-4}	2.2×10^{-4}	0.14×10^{-3}	0.16×10^{-3}	0.55×10^{-3}
LV4	1.70×10^{-4}	1.96×10^{-4}	6.4×10^{-4}	0.42×10^{-3}	0.49×10^{-3}	1.6×10^{-3}
LV5	0.66×10^{-4}	0.76×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.16×10^{-3}	0.19×10^{-3}	0.62×10^{-3}
LV6	0.53×10^{-4}	0.61×10^{-4}	2×10^{-4}	0.13×10^{-3}	0.15×10^{-3}	0.50×10^{-3}
LV7	0.58×10^{-4}	0.67×10^{-4}	2.2×10^{-4}	0.14×10^{-3}	0.16×10^{-3}	0.55×10^{-3}
LI1	2.24×10^{-4}	2.58×10^{-4}	8.4×10^{-4}	0.56×10^{-3}	0.64×10^{-3}	2.1×10^{-3}
LI2	1.04×10^{-4}	1.2×10^{-4}	3.9×10^{-4}	0.26×10^{-3}	0.30×10^{-3}	0.97×10^{-3}
LI3	0.66×10^{-4}	0.76×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.16×10^{-3}	0.19×10^{-3}	0.62×10^{-3}
LI4	0.26×10^{-4}	0.30×10^{-4}	1×10^{-4}	0.06×10^{-3}	0.07×10^{-3}	0.25×10^{-3}
LI5	0.66×10^{-4}	0.76×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.16×10^{-3}	0.19×10^{-3}	0.62×10^{-3}

Pour l'indice de risque calculé des trois éléments traces, aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur, vu que tous les indices de risque calculés sont inférieurs à 1. Bien que LV7 contienne une valeur élevée de Zinc (ce qui a donné un indice de risque de l'ordre de 0.19 pour un enfant de 20 kg), et le LI1 un taux plus au moins important de cadmium (avec un indice de risque de 0.304 pour un enfant), ce qui est capable de poser un problème si c'est laits sont consommés plusieurs fois par jour par un enfant d'un faible poids corporel.

Il faut mentionner que dans ce travail, l'indice de risque est calculé seulement en tenant compte de la consommation du lait et qu'il existe d'autres aliments consommés durant la journée contenant aussi le cadmium, le cuivre et le zinc. Il existe aussi un autre

rapport d'éléments traces métalliques qui provient de d'autres modes de contamination tels que l'inhalation et le contact cutané.

Tableau 7 : Dose journalière estimée et indice de risque pour le zinc

Échantillons	DJE (mg/ kg / jour)			IR		
	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)	Homme (75kg)	Femme (65kg)	Enfant (20kg)
LV1	0.31 x10 ⁻³	0.36 x10 ⁻³	1.19 x10 ⁻³	0.0009	0.0011	0.0036
LV2	0.28 x10 ⁻³	0.32 x10 ⁻³	1.07 x10 ⁻³	0.0008	0.0010	0.0032
LV3	0.62 x10 ⁻³	0.72 x10 ⁻³	2.36 x10 ⁻³	0.00190	0.0022	0.0071
LV4	0.23 x10 ⁻³	0.27 x10 ⁻³	0.89 x10 ⁻³	0.00071	0.0008	0.0026
LV5	0.25 x10 ⁻³	0.29 x10 ⁻³	0.97 x10 ⁻³	0.00078	0.0009	0.0029
LV6	0.18 x10 ⁻³	0.21 x10 ⁻³	0.7 x10 ⁻³	0.00056	0.0006	0.0021
LV7	16.93 x10 ⁻³	19.54 x10 ⁻³	63.51 x10 ⁻³	0.05132	0.0592	0.1924
LI1	0.64 x10 ⁻³	0.73 x10 ⁻³	2.4 x10 ⁻³	0.00193	0.0022	0.0072
LI2	0.48 x10 ⁻³	0.55 x10 ⁻³	1.8 x10 ⁻³	0.00145	0.0017	0.0054
LI3	0.25 x10 ⁻³	0.29 x10 ⁻³	0.95 x10 ⁻³	0.00076	0.0009	0.0028
LI4	0.82 x10 ⁻³	0.95 x10 ⁻³	3.1 x10 ⁻³	0.00250	0.0029	0.0094
LI5	0.80 x10 ⁻³	0.93 x10 ⁻³	3.03 x10 ⁻³	0.00244	0.0028	0.0092

Conclusion :

Les produits animaux, en particulier le lait et les produits laitiers, jouent un rôle important dans la nutrition humaine et sont particulièrement importants en raison de leur teneur en protéines et minéraux essentiels. Par conséquent, l'introduction de niveaux élevés de métaux lourds dans les produits laitiers peut être considérée comme un risque potentiel pouvant mener à des maladies graves, c'est pourquoi il est important de déterminer leur teneur dans le lait et les produits laitiers.

Des risques sanitaires significatifs ont été observés lorsque l'homme est exposé d'une manière importante et régulière aux éléments traces métalliques. La tendance de ces derniers à s'accumuler dans les tissus, leur persistance et le risque élevé pour la santé ont soulevé des inquiétudes quant à l'impact sur la santé humaine en raison de l'exposition alimentaire à des concentrations faibles mais chroniques.

Le but de cette étude était de déterminer la concentration de quelques éléments traces métalliques toxiques tels que le plomb et le cadmium et essentiels comme le zinc et le cuivre, dans quelques échantillons de lait de vache provenant de différentes régions de Mostaganem ainsi que quelques laits industriels qui se trouvent dans le marché algérien.

L'analyse des éléments traces métalliques dans le lait de vache cru et le lait industriel a révélé que tous les échantillons analysés ont des teneurs élevées pour le cadmium par rapport aux normes. En ce qui concerne le dosage du zinc, le lait de vache avait d'une façon générale des valeurs plus importantes que celles du lait industriel. Le lait de vache qui provient de la région de Stidia avait une valeur de zinc équivalent à 6.351 mg/kg alors que les valeurs maximales autorisées sont 0.33 mg/kg. En ce qui concerne le cuivre, des valeurs inférieures aux doses maximales admises (0.4 mg/kg) ont été enregistrées.

Pour l'indice de risque calculé des trois éléments traces, aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur, vu que tous les indices de risque calculés sont inférieurs à 1. Cependant, le nombre de métaux lourds analysés et la taille de l'échantillon ont été limités dans notre étude et d'autres études semblent nécessaires afin de confirmer l'absence de risques toxicologiques possibles.

Références bibliographiques

- Abdul, K.A., Swaileh, K.M., Hussein, R.M., and Matani, M.,** 2012. Levels of metals (Cd, Pb, Cu and Fe) in cow's milk, dairy products and hen's eggs from the West Bank, Palestine. *Int. Food Res. J.* 19(3): 1089-1094.
- Akujobi CO., Odu NN., Okorundu, SI .,** 2012. Bioaccumulation of lead by *Bacillus* species isolated from pig waste. *Journal of Research in Biology.* 2: 83-9.
- Alem, G., Tesfahun, K., and Kassa, B.,** 2015. Quantitative determination of the level of selected heavy metals in the cows' milk from the dairy farm of the Haramaya University, Eastern Ethiopia. *Int. J. Chem. Nat. Sci.* 3(1): 240-248.
- Ali, J.A., Bukar, D.E., Jimoh, N., Hauwa, N.T., Yusuf, N., and Umar, Z.T.,** 2011. Determination of copper, zinc, lead and some biochemical parameters in fresh cow milk from different locations in Niger State, Nigeria. *Afr. J. Food Sci.* 5(3): 156-160.
- Aloizou, AM., Siokas, V., Vogiatzi, C., Peristeri, E., Docea, AO., Petrakis, D., Provatas, A., Folia, V., Chalkia C., Vinceti, M., Wilks, M., Izotov, BN., Tsatsakis, A., Bogdanos, DP., Dardiotis, E.,** 2020 Pesticides, cognitive functions and dementia: A review. *Toxicol Lett.* Jun 15;326:31-51. doi: 10.1016/j.toxlet.2020.03.005
- Arianejad, M., Alizadeh, M., Bahrami, A., Arefhoseini, S. R.,** 2015. Levels of Some Heavy Metals in Raw Cow's Milk from Selected Milk Production Sites in Iran: Is There any Health Concern?. *Health promotion perspectives.* 5(3): 176.
- Astolf i, M. L., Marconi, E., Protano, C., Canepari, S.,** 2020. Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control.*
- Antoniadis, V., Golia, E.E., Liu, Y., Wang, S., Shaheen, S.M., Rinklebe, J.,** 2019. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environ. Int.* 124: 79–88.
- Ayar, A., Sert, D., Akin, N.,** 2009. The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia Turkey, *Environmental Monitoring Assessment.* 152: 1-12.
- Billa, PA.,** 2020. Identification de biomarqueurs du statut nutritionnel dans le lait et étude nutriginomique de la glande mammaire de vaches Holstein et Montbéliarde.. *Agronomie. Université Clermont Auvergne.*

- Becker-Algeri, T.A., Castagnaro, D., de Bortoli, K., de Souza, C., Drunkler, D.A., Badiale-Furlong, E.,** 2016. Mycotoxins in bovine milk and dairy products: a review. *J. Food Sci.* 81 (3), R544_R552.
- Beckers, F., Rinklebe, J.,** 2019. Cycling of mercury in the environment: sources, fate, and human health implications: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47: 693–794. Behanzin, G. J., Adjou, E.S., Yessoufou, A.G., Dahouenon, A.E., Sezan, A., 2014. Effet
- Bost, M., Houdart, S., Oberli, M., Kalonji, E., Huneau, JF., Margaritis, I.,** 2016 Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. *J Trace Elem Med Biol.* May;35:107-15. doi: 10.1016/j.jtemb.2016.02.006. Epub 2016 Mar 5. PMID: 27049134.
- Bourlieu, C., Michalski M-C.,** 2015. Structure–function relationship of the milk fat globule. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*;18(2):118–127.
- Brignon, J. M., Malherbe, L.,** 2005. Cadmium et ses dérivés. INERIS, données technico économiques sur les substances chimiques en France. 25p.
- Chirinos-Peinado, D. M., & Castro-Bedriñana, J. I.,** 2020. Lead and cadmium blood levels and transfer to milk in cattle reared in a mining area. *Heliyon*, 6(3), e03579. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03579>
- Cuvelier, C., Hornick, J.L., Beckers, Y., Froidmont, E., Knapp, E., Istasse, L., Dufrasne, I.,** 2013. Livret de l’agriculture : L’alimentation de la vache laitière : Physiologie et besoins. Université de Liège.p 67.
- Danthine, S., Blecker, c., Paquot, M., Innocente, N., Deroanne, C.,** 2000. Evolution des connaissances sur la membrane du globule gras du lait: synthèse bibliographique. *Lait*, 80 - 209-222.
- DAWG, AG., GEZMU, TB., HAKI, GD.,** 2012. Essential and toxic metal in cow’s whole milk from selected sub-cities in Addis-Ababa, Ethiopia. *Online International Journal of Food Science*; 1(1): 12-19
- Degnon, R.G., Dahouenon-Ahoussi, E., Adjou, E.S., Soumanou, M.M., Dolganova, N.V., and Sohounhloue D.C.K.,** 2012. Heavy metal contamination of the Nokoué Lake (southern Benin) and the dynamic of their distribution in organs of some fish’s species (*Mugilcephalus L.* and *Tilapia guineensis*). *J. Anim. Sci. Adv.* 2(7): 589-595.
- Dobrzański, Z., Kolacz, R., Górecka, H., Chojnacka, K., and Bartkowiak A.,** 2005. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. *Polish J. Environ. Stud.* 14(5): 685-690.

- Docea ,AO., Vassilopoulou, L., Fragou, D., Arsene, AL., Fenga ,C., Kovatsi ,L., Petrakis D., Rakitskii ,VN., Nosyrev, AE., Izotov, BN., Golokhvast, KS., Zakharenko ,AM., Vakis A., Tsitsimpikou, C., Drakoulis, N., 2017.** CYP polymorphisms and pathological conditions related to chronic exposure to organochlorine pesticides. *Toxicol Rep.* May 26;4:335-341. doi: 10.1016/j.toxrep.2017.05.007..
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J.N., 2007.** Heavy metal pollution and human biotoxic effects.*Int. J. Phys. Sci.* 2: 112–118.
- Fredot, E., 2006.** Connaissance des aliments base alimentaire et nutritionnelle de diététique, Tec et Doc, Lavoisier : 25(397p).
- FAO., 2017.** Le lait et produits laitiers. La composition du lait.
- Fayolle, L., 2015.** Le lactose, indicateur de déficit énergétique chez la vache laitière ?. Thèse de doctorat : sciences vétérinaires. Lyon : Campus vétérinaire de Lyon, 2015, 141 p
- Flores-Flores, M.E., Lizarraga, E., Lo´pez de Cerain, A., Gonza´lez-Pen˜ as, E., 2015.** Presence of mycotoxins in animal milk: a review. *Food Control* 53, 163_176.
- Gabriël, S., Geldhof, P., Phiri, I.K., Cornillie, P., Goddeeris, B.M., and Vercruyse, J., 2005.** Placental transfer of immunoglobulins in cattle infected with *Schistosoma mattheei*. *Veterinary Immunology and Immunopathology*
- Guler, Z., 2007.** Levels of 24 minerals in local goat milk, its strained yoghurt and salted yoghurt (Tuzlu yogurt). *Small Ruminant Res.* 71: 130–137.
- Gupta, N., Yadav, K.K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R.P., Kumar, A., 2019.** Trace elements in soil -vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration -A Journal Pre-proof Journal Pre-proof review. *Sci. Total Environ.* 651: 2927 -2942.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J.N., 2007.** Heavy metal pollution and human biotoxic effects.*Int. J. Phys. Sci.* 2: 112–118.
- Hashemi, M., 2020.** Heavy metals concentrations in dairy cow feedstuffs from the south of Iran, *Food Additives & Contaminants: Part B.* 13(1): 10-15.
- Haydon M.J., Cobbett C.S., 2007.** Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytol.* 174:499–506.

- Hopkin, S.P.**, 1989. Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. Elsevier, Applied science, NY, USA, 366p.
- Islam, MS., Kawser, M.A., Habibullah, M.A.M., Shigeki M.**, 2015. Assessment of trace metals in foodstuffs grown around the vicinity of industries in Bangladesh. *J. Food Compos.* 42: 8-15.
- Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Goodwill, J., & Sun, J.**, 2019. Heavy metals in milk: global prevalence and health risk assessment. *Toxin Reviews*, 38, 1 - 12.
- ISO .**, 1994. Qualité de l'eau : Dosage du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique. Suisse : ISO 5961, 10p
- Jan, A.T., Ali, A., Haq, Q.**, 2011. Glutathione as an antioxidant in inorganic mercury induced nephrotoxicity. *J. Postgrad. Med.* 57: 72–77.
- Jeanet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., Brule. G.**, 2008 Les produits laitiers ,2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier. : 1-3-13-14-17 (185 pages)
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H.**, 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.
- Khan, N., Jeong, I. S., Hwang, I. M., Kim, J. S., Choi, S. H., Nho, E. Y.**, 2014. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry.* 147: 220–224.
- Lahiji, FA.**, 2016. “Potential of Rice Husk Biosorption in Reduction of Heavy Metals from *Oryza sativa* Rice”. *Biosciences Biotechnology Research Asia.* 13(4): 2231-2237.
- Li, J., Xing, L., Zhang, R.**, 2017. Effects of se and cd co-treatment on the morphology, oxidative stress, and ion concentrations in the ovaries of laying hens. *Biol Trace Elem Res.* 183: 156–163.
- Lin, X., Yang, T., Li, H.**, 2020. Interactions Between Different Selenium Compounds and Essential Trace Elements Involved in the Antioxidant System of Laying Hens. *Biol Trace Elem Res.* 193: 252–260
- Malhat, F., Hagag, M., Saber, A., Fayz A.E.**, 2012. Contamination of cow's milk by heavy metal in Egypt. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 88(4): 611-613.
- Marangoni, F., Pellegrino, L., Verduci, E., Ghiselli, A., Bernabei, R., Calvani, R., Cetin, I., Giampietro, M., Perticone, F., Piretta, L.**, 2019. Cow's milk consumption and health: A health professional's guide. *J. Am. Coll. Nutr.* , 38, 197–208.
- Mathaiyan, M., Natarajan, A., Rajarathinam, X., & Rajeshkumar, S.**, 2021. Assessment of Pb, Cd, As and Hg concentration in edible parts of broiler in major metropolitan cities of Tamil Nadu, India. *Toxicology Reports*, 8, 668 - 675.

- Miclean, M., Cadar, O., Levei, EA., Roman, R., Ozunu, A., Levei, L.,** 2019. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and healthrisk assessment through raw milk consumption from free-range cows. *Int J Environ Res Public Health*. 16(21): 4064.
- Mitchell, GE.,** 1981. Trace metal level in Queensland dairy products. *Aust. J. Dairy Technol*. 6(3): 70-73.
- Muhib, M.I., Chowdhury, M.A.Z., Easha, N.J., Rahman, M., Shammi, M., Fardous, Z., Bari, M.L., Khabir Uddin, M., Kurasaki M.,** 2016. Investigation of heavy metal contents in Cow milk samples from area of Dhaka, Bangladesh. *Int. J. Food Contam*. 3: 1-16.
- OUADGHIRI, M.,** 2009. Biodiversité des bactéries lactiques dans le lait cru et ses dérivés « Lben » et « Jben » d'origine marocaine. Université Mohammed V – Agdal, 29.
- OZRENK, E.,** 2002. Level of pollution and contents of some mineral in the produced cow milk in the Van city. PhD Thesis YYU Science Ens. Van, Turkey .
- Peters, J. B.,** 2003. Recommended Methods of Manure Analysis, Cooperative Extension Pub.
- Rana, M. N., Tangpong, J., Rahman, M. M.,** 2018. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. *Toxicology reports*. 5: 704–713.
- Rao, A.N.,** 2005. Trace element estimation: methods and clinical context. *Online. J. Health Allied. Sci*. 4(1): 1-9
- Raslan, AA., Elbadry, S., Darwish, WS.,** 2018. Estimation and Human Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Raw Milk Marketed in Zagazig City, Egypt. *J Toxicol*. Aug 12;2018:3821797.
- Rinklebe, J., Antoniadis, V., Shaheen, S.M., Rosche, O., Altermann, M.,** 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environ. Int*. 126: 76–88.
- Rodríguez Rodríguez, EM., Sanz Alaejos, M., Díaz Romero, C.,** 1999. Chemometric studies of several minerals in milks. *J Agric Food Chem*, 47(4): 1520-4. Royer A Sharman T. Copper Toxicity. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); : PMID: 32491388.2020.
- Royer, A., Sharman, T.,** 2020. Copper Toxicity. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); PMID: 32491388.
- SALGUEIRO, M., ZUBILLAGA, MB., LYSIONEK, AE., CARO, RA., WEILL, R., BOCCIO, JR.,** 2002. The role of zinc in the growth and development of children. *Nutrition*; 18:510-9.
- Seyed, M.D., and Ebrahim, R.,** 2012. Determination of lead residue in raw cow milk from different regions of Iran by flameless atomic absorption spectrometry. *Am-Eurasian J. Toxicol. Sci*. 4(1): 16-19.

- Sieber, R., Rehberger, B., Schaller, F., Gallmann, P.,** 2006. Technological aspects of copper in milk products and health implications of copper. ALP science: No. 493, Agroscope Liebefeld-Posieux publisher.
- Singhal, S., Baker, R.D., Baker, S.S.,** 2017. A comparison of the nutritional value of cow's milk and nondairy beverages. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 64, 799–805.
- Taghizadeh, S., Rezaee, R., Badibostan, H., & Karimi, G.,** 2020. Probabilistic carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metal ingestion through consumption of different walnut cultivars: An Iranian study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192.
- Taghizadeh, SF., Rezaee, R., Davarynejad, G., Asili, J., Nemati, SH., Goumenou, M., Tsakiris, I., Tsatsakis, AM., Shirani, K., Karimi, G.,** 2018. Risk assessment of exposure to aflatoxin B1 and ochratoxin A through consumption of different Pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars collected from four geographical regions of Iran. *Environmental Toxicology and Pharmacology*.:61:61-6.
- Taylor, MW., MacGibbon, AKH., Milk lipids j fatty acids. In: Fuquay, J., Fox, P., McSweeney, P.,** 2011. editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed. New York (NY): Elsevier Ltd; p. 655–659. doi:10.1016/B978-0-12-374407-4.00332-0. 3.
- Timon, C.M., O'Connor, A., Bhargava, N., Gibney, E.R., Feeney, E.L.,** 2020. Dairy Consumption and Metabolic Health. *Nutrients* , 12, 3040. <https://doi.org/10.3390/nu12103040>
- Wu, Q., Liping Huang, L., Su, N.,** 2020. Calcium-dependent hydrogen peroxide mediates hydrogen-rich water-reduced cadmium uptake in plant roots [published online ahead of print. *Plant Physiol*: 377pp.
- Yahaya, M.I., Ezo, G.C., Musa, Y.F., and Muhamad S.Y.,** 2010. Analysis of heavy metals concentration in roadside soils in Yauri, Nigeria. *Afr. J. Pure Appl. Chem.* 4(3): 22-30.
- YENNEK, N.,** 2010. effets des facteurs d'élevage sur la production et la qualité du lait de vache en régions montagneuses. Magister à l'université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou.
- Zhong, W., Zhang, Y., Wu, Z., Yang, R., Chen, X., Yang, J., et al.,** 2018. Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 157, 343–349.
- Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H., Li, N., Li, Z.,** 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, south China. *Sci. Total Environ.* 407: 1551–1561.